

# KINERJA STRUKTUR AKIBAT BEBAN GEMPA DENGAN METODE RESPON SPEKTRUM DAN *TIME HISTORY* (Studi Kasus : Hotel SKA Pekanbaru)

Rezky Rendra<sup>1)</sup>, Alex Kurniawandy<sup>2)</sup>, Zulfikar Djauhari<sup>3)</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293  
Email: rezkyrendra99@gmail.com

<sup>2</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293  
Email: alexkurniawandy@gmail.com

<sup>3</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293  
Email: zulfikar.djauhari@lecturer.unri.ac.id, zulfr\_dj@yahoo.com

## ***Abstract***

*Earthquake is a natural disaster that is very difficult to predict, the occurrence is relatively short, but the impact can be very dangerous. Earthquake resistant building design must be implemented in the design of a building. dynamic analysis is necessary to determine structure behavior . In this study, there are two dynamic methods used, they are response spectrum method and time history method. Structures analyzed in this study were Hotel SKA Pekanbaru Building. This study examines the performance of the structure consist of story shear, displacement and story drift when receiving seismic load. spectrum response used is pekanbaru city spectrum response by SNI 1726-2012 while the time history used in this study is the time history of El-centro Earthquake, Mentawai Earthquake Aceh , Earthquake and Padang earthquake. response spectrum method Analysis produce Damage Control (DC) performance level in X direction and Y direction. time history of El-centro earthquake analysis produce Structural Stability (SS) performance level in X direction and Y direction. time history of Mentawai Earthquake analysis produce Immediate Occupancy (IO) performance level in X direction and Y direction. time history of Aceh Earthquake analysis produce Damage Control (DC) performance level in X direction and Y direction . time history of Padang Earthquake analysis produce Structural Stability (SS) performance level in X direction and Y direction.*

*Keyword: Response Spectrum, Time History, Performance Level, Dynamic Analysis*

## **A. Pendahuluan**

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang sering terkena gempa. Hal ini dikarenakan Indonesia terletak diantara tiga lempeng aktif dunia, yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik. Konsekuensi tumbukan lempeng tersebut mengakibatkan negara Indonesia rawan bencana geologi diantaranya gempa bumi, letusan gunung api, tsunami, gerakan tanah dan lain-lain. Salah satu daerah yang sering dilanda gempa bumi adalah Pulau Sumatera. Gempa bumi yang terjadi pada daerah ini akibat pertemuan lempeng tektonik di daerah pantai barat Sumatera dan aktivitas sesar di pulau Sumatera.

Pekanbaru merupakan salah satu kota yang terdapat di pulau sumatera, sebagai ibukota provinsi Riau, Kota Pekanbaru mengalami tingkat pertumbuhan yang cukup tinggi sehingga mendorong terjadinya pembangunan infrastruktur untuk mengatasi pertumbuhan tersebut. Sebagai hasilnya, saat ini mulai banyak bermunculan gedung tinggi di Kota Pekanbaru. Sebagai salah satu daerah yang sering terkena gempa dewasa ini, maka pembangunan gedung di Kota Pekanbaru harus mempertimbangkan beban akibat gempa dalam perancangannya.

Saat ini Perencanaan bangunan tahan gempa di Indonesia menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI), yaitu tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk

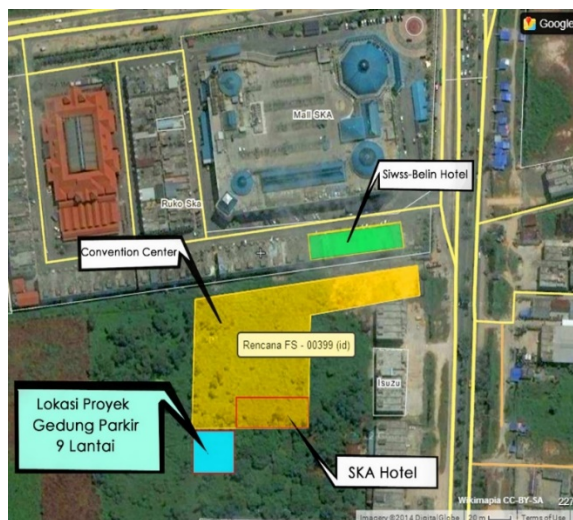
struktur bangunan gedung dan nongedung SNI 1726-2012 yang mengacu pada American Society of Civil Engineers (ASCE) 7 tahun 2010. Dalam SNI 1726-2012 terdapat metode beban dinamis dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Analisis dinamis untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa.

Terdapat beberapa metode yang bisa digunakan dalam Analisis dinamis, diantaranya adalah Analisis Riwayat Waktu (*Time History Analysis*), dengan cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Respon Spektrum (*Spectrum Response Analysis*), dengan cara ini respons maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respons Rencana (*Design Spectra*).

Selanjutnya tulisan ini mengkaji kinerja struktur akibat beban gempa dengan menggunakan metode respon dan *time history*.

Analisis dilakukan dengan batasan sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan dengan studi kasus pada Gedung Hotel SKA di kota Pekanbaru.



Gambar 1 Lokasi Studi Kasus Penelitian

2. Analisis menggunakan bantuan program komputer.
3. Analisis pada penelitian ini dilakukan dengan metode respon spektrum dan *time history*.
4. Penelitian ini tidak memperhitungkan analisis interaksi tanah dan struktur.
5. Data struktur yang diketahui yaitu:
  - a. Sistem struktur gedung dalam penelitian ini adalah sistem ganda (*dual system*).  
Tinggi total struktur adalah 75,55 meter.
  - b. Kuat tekan beton,  $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$  untuk balok dan plat lantai serta  $f'_c = 450 \text{ kg/cm}^2$  untuk kolom dan shearwall.
  - c. Mutu baja,  $f_y = 400 \text{ MPa}$  untuk tulangan utama dan  $f_y = 240 \text{ MPa}$  untuk tulangan geser.

## B. TINJAUAN PUSTAKA

Struktur tahan gempa adalah struktur yang tahan (tidak rusak dan tidak runtuh) apabila terlanda gempa, bukan struktur yang semata-mata (dalam perencanaan) sudah diperhitungkan dengan beban gempa (Tjokrodimulyo, 2007).

Prinsip-prinsip dasar perlu diperhatikan dalam perencanaan, perancangan dan pelaksanaan struktur bangunan beton bertulang tahan gempa yaitu:

1. sistem struktur yang digunakan haruslah sesuai dengan tingkat kerawanan daerah dengan struktur bangunan tersebut berada terhadap gempa. Aspek kontinuitas dan integritas struktur bangunan perlu diperhatikan. Dalam pendetailan penulangan dan sambungan-sambungan, unsur-unsur struktur bangunan harus terikat secara efektif menjadi satu kesatuan untuk meningkatkan struktur secara menyeluruh.
2. konsistensi sistem struktur yang diasumsikan dalam desain dengan

sistem struktur yang dilaksanakan harus terjaga.

3. materi beton yang digunakan haruslah memiliki daya tahan yang tinggi dilingkungannya.
4. unsur-unsur arsitektural yang memiliki masa yang besar harus terikat dengan kuat pada sistem portal utama dan harus diperhitungkan pengaruhnya terhadap sistem struktur.
5. metode pelaksanaan, sistem *quality control* dan *quality assurance* dalam tahapan konstruksi harus dilaksanakan dengan baik dan harus sesuai dengan kaidah yang berlaku. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa besarnya gaya gempa yang diterima struktur bangunan pada dasarnya dipengaruhi oleh karakteristik gempa yang terjadi, karakteristik tanah dimana bangunan berada dan karakteristik struktur bangunan. Karakteristik struktur bangunan yang berpengaruh diantaranya bentuk bangunan, massa bangunan, beban gravitasi yang bekerja, kekakuan dan lain-lain.

### Periode Alami Struktur

Menurut SNI 1726-2012 periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t (h_n)^x \quad (1)$$

dengan  $h_n$  adalah tinggi total struktur dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  didapatkan dari tabel 1.

Tabel 1 Nilai Parameter  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka beton dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0488	0,75
Semua sistem struktur lainnya		

Sumber : SNI 1726-2012

Periode fundamental ( $T$ ) tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas

pada periode yang dihitung ( $C_u$ ).  $C_u$  ditentukan dari Tabel 2

$$T_{Max} = C_u T_a \quad (2)$$

Tabel 2 Koefisien Untuk batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : SNI 1726-2012

### Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.6, simpangan anatar lantai hanya terdapat satu kinerja, yaitu pada kinerja batas ultimit. Penentuan simpangan antarlantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris, dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa di tingkat atasnya.

Bagi struktur yang dirancang untuk Kategori Desain Seismik C,D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horisontal Tipe 1a atau 1b, simpangan antar lantai desain ( $\Delta$ ), harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.

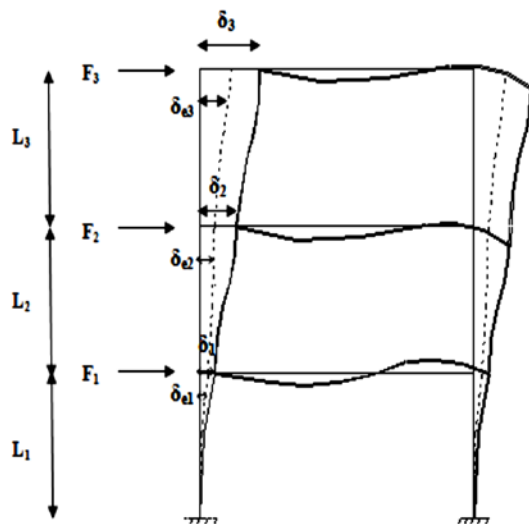
Defleksi pusat massa di Tingkat  $x$  ( $\delta_x$ ) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3)$$

dengan:

- $C_d$  = faktor pembesaran defleksi  
 $\delta_{xe}$  = defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis  
 $I_e$  = faktor keutamaan

Penentuan simpangan antarlantai dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Penentuan Simpangan Antar Lantai (SNI 1726-2012)

dengan:

- $F_3$  = gaya gempa desain tingkat kekuatan  
 $\delta_{e3}$  = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan  
 $\delta_3$  =  $C_d \delta_{e3} / I_e$  = perpindahan yang diperbesar  
 $\Delta_3$  =  $(\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_e \leq \Delta_a$   
 $F_2$  = gaya gempa desain tingkat kekuatan  
 $\delta_{e2}$  = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan  
 $\delta_2$  =  $C_d \delta_{e2} / I_e$  = perpindahan yang diperbesar  
 $\Delta_2$  =  $(\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_e \leq \Delta_a$   
 $F_1$  = gaya gempa desain tingkat kekuatan  
 $\delta_{e1}$  = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan  
 $\delta_1$  =  $C_d \delta_{e1} / I_e$  = perpindahan yang diperbesar  
 $\Delta_1$  =  $\delta_1 C_d / I_e \leq \Delta_a$

Simpangan antar lantai desain ( $\Delta$ ), tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin ( $\Delta_a$ ) yang ditentukan pada Tabel 3.

Tabel 3 Simpangan Antar Lantai Izin

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 $h_{sx}^c$	0,020 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$
Semua struktur lainnya	0,020 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$

$h_{sx}$  adalah tinggi tingkat dibawah tingkat x

Sumber : SNI 1726-2012

### Efektifitas Penampang

Pada struktur beton pengaruh keretakan beton harus diperhitungkan terhadap kekakuannya. Maka, momen inersia penampang unsur struktur dapat ditentukan sebesar momen inersia penampang utuh dikalikan dengan persentase efektifitas penampang. Persentase efektifitas penampang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Efektifitas Penampang

Modulus elastisitas	$E_c$
Momen Inersia	
Balok	0,35 $I_g$
Kolom	0,70 $I_g$
Dinding : tidak retak	0,70 $I_g$
: retak	0,35 $I_g$
Pelat datar dan lantai datar	0,25 $I_g$
Luas	1,0 $I_g$

### Level Kinerja Struktur Menurut ATC-40

Besarnya simpangan horizontal (*drift*) harus dipertimbangkan sesuai dengan peraturan yang berlaku, yaitu kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit. Menurut Mc. Cormac (2004) simpangan struktur dapat dinyatakan dalam bentuk *drift indeks*. Drift indeks dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

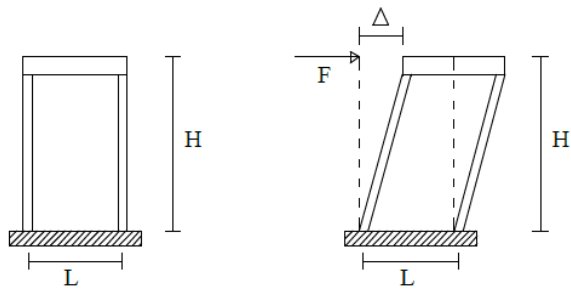
$$DriftIndeks = \frac{\Delta}{H} \quad (4)$$

dengan :

$\Delta$  = besar defleksi maksimum yang terjadi

$h$  = ketinggian struktur portal





Gambar 3 Defleksi Lateral

Besarnya *drift indeks* tergantung pada besarnya beban-beban yang dikenakan pada struktur.

Berdasarkan ATC-40 kinerja struktur bangunan gedung dapat dibagi menjadi kategori sebagai berikut:

a) *Immediate Occupancy (IO)*

Kategori ini struktur bangunan aman. Resiko korban jiwa dari kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan/beroperasi kembali.

b) *Damage Control (DC)*

Kategori ini struktur bangunan yang dalam pasca gempa, kerusakan yang terjadi bervariasi diantara kategori *Immediate Occupancy* dan *Life Safety*. Resiko korban jiwa sangat rendah. Struktur bangunan boleh rusak, namun tidak runtuh.

c) *Life Safety (LS)*

Kategori ini struktur bangunan terlalu daktail. Termasuk dalam kategori ini adalah struktur bangunan yang dalam pasca gempa tidak dapat mendesak sebagai fasilitas penyelamatan. Resiko korban jiwa sangat rendah.

d) *Limited Safety*

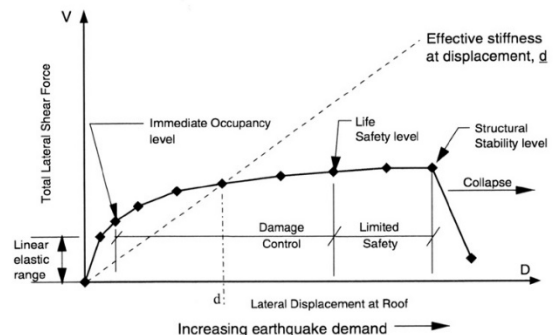
*Limited Safety* bukan merupakan level spesifik, tetapi merupakan jarak antara *Life Safety* dan *Structural Stability*.

e) *Structural Stability*

*Structural Stability* termasuk dalam kategori ini adalah struktur bangunan yang dalam pasca gempa, gedung diambang batas runtuh total.

f) *Not Considered*

*Not Considered* bukan merupakan tingkat kinerja, tetapi khusus untuk evaluasi seismik nonstruktural atau *retrofit*.



Gambar 4 Kurva Kapasitas

Sumber : ATC-40

Tabel 5 *Deformation Limit* berbagai Kinerja ATC-40

<i>Interstory Drift Limit</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maximum Total Roof Displ. Ratio (Xmax/H)</i>	0,01	0,01 - 0,02	0,02	0,33
<i>Maximum Inelastic Drift</i>	0,005	0,005 - 0,015	No. Limit	No. Limit

**Metode Respons Spektrum**

Menurut SNI 1726-2012 respons spektra harus dibuat terlebih dahulu berdasarkan data-data yang ada. Data-data yang dibutuhkan dan prosedur untuk pembuatan respons spektra adalah sebagai berikut:

1. Parameter percepatan batuan dasar terpetakan

Parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar batuan pada periode pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan dari respons spektra percepatan 0,2 dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik seperti yang ada pada Gambar 5 dan Gambar 6 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

2. Parameter kelas situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs diklasifikasikan sebagai kelas situs SA (batuan keras), SB (batuan),

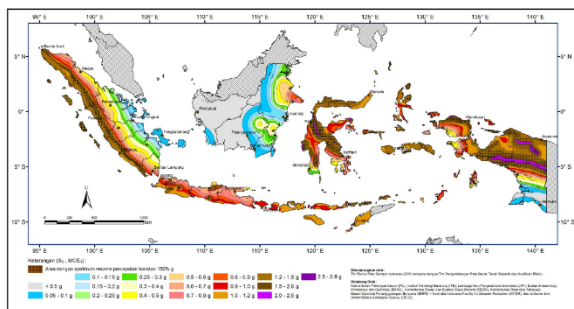
SC (tanah keras sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak) dan SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik).

### 3. Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektra percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ )

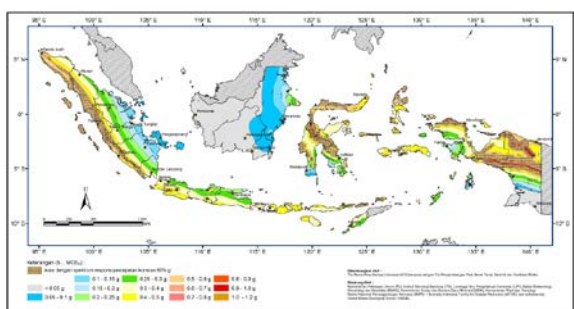
Untuk penentuan respons spektra percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_S \quad (5)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (6)$$



Gambar 5  $S_S$ , Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget(MCER)



Gambar 6  $S_1$ , Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget(MCER)

Tabel 6 Koefisien Situs,  $F_a$

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa $MCE_R$ Terpetakan Pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik				

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 7 Koefisien Situs,  $F_v$

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa $MCE_R$ Terpetakan Pada Periode 1 detik, $T = 1$ detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik				

Sumber: SNI 1726-2012

### 4. Parameter Percepatan Spektra

Parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek dan periode 1 detik harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini:

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \quad (7)$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} \quad (8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (9)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (10)$$

Semua parameter respons desain diplot dalam grafik dan akan menghasilkan respons spektra desain.

### 5. Prosedur pembuatan respons spektra desain

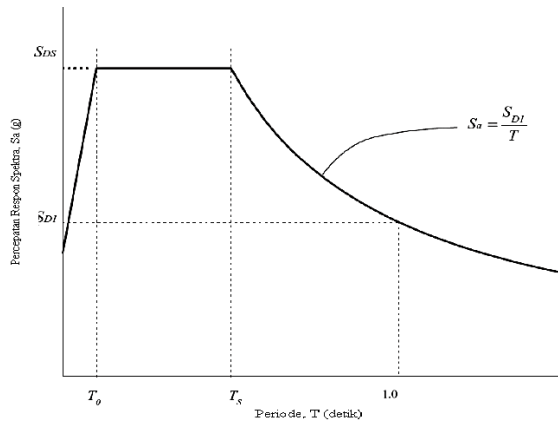
Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ) ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + \frac{T}{T_0} \right) \quad (11)$$

Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons desain ( $S_a$ ) sama dengan  $S_{DS}$ . Sedangkan untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ) diambil berdasarkan persamaan berikut ini:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (12)$$

Respons spektra desain yang dibuat seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Respon Spektra Desain  
Sumber: SNI 1726-2012

### Metode Time History

Analisa Respons Riwayat Waktu adalah suatu cara analisa dinamik struktur, dimana suatu model matematik dari struktur dikenakan riwayat waktu dari gempa-gempa hasil pencatatan atau gempa-gempa tiruan terhadap riwayat waktu dari respons struktur ditentukan.

Data percepatan permukaan tanah (PGA) berupa akselerogram, yaitu grafik perbandingan percepatan permukaan tanah (PGA) terhadap waktu atau durasi saat terjadinya gempa. Data akselerogram ini akan menjadi parameter gempa masukan untuk suatu perancangan atau analisis struktur. Gaya gempa masukan yang digunakan berupa percepatan maksimum permukaan tanah (PGA) dari rekaman gempa sebenarnya. Percepatan tanah puncak harus ditentukan dengan (1) studi spesifik-situs dengan mempertimbangkan pengaruh amplifikasi yang secara spesifik, atau (2) percepatan tanah puncak  $PGA_M$ , dari Persamaan 12.

$$PGA_M = F_{PGA} PGA$$

Keterangan :

$PGA_M$  =  $MCE_G$  percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs

$PGA$  = percepatan tanah puncak terpetakan

$F_{PGA}$  = koefisien situs dari Tabel 8

Tabel 8 Koefisien Situs,  $F_{PGA}$

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	Lihat 6.9				

Sumber: SNI 1726-2012

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 11.1.4 Parameter respons gaya harus dikalikan dengan  $I_e/R$ ,  $I_e$  adalah faktor keutamaan gempa dan  $R$  adalah koefisien modifikasi respons.

Tabel 9 Faktor Keutamaan Gempa,  $I_e$

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 10 Faktor R

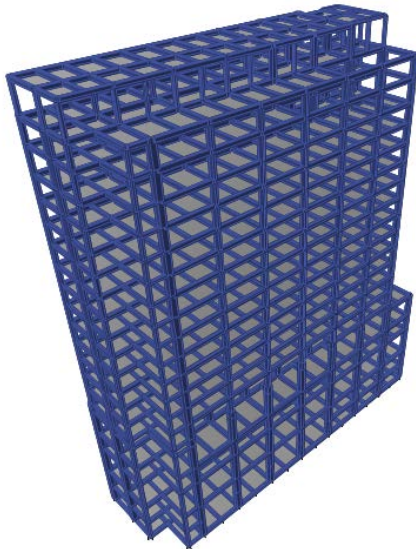
Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R
Rangka baja dengan bresing eksentris	8
Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7
Dinding geser beton bertulang khusus	7
Dinding geser beton bertulang biasa	6
Rangka baja dan beton komposit dengan abresing eksentris	8
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6
Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7 1/2
Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7
Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6

Sumber: SNI 1726-2012

### C. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### Karakteristik Dinamik

Struktur dianalisis terlebih dahulu dengan memodelkan Gedung Hotel SKA tanpa menggunakan *shearwall* untuk mengetahui kecendrungan perilaku gedung tersebut. Pemodelan Gedung SKA Pekanbaru tanpa menggunakan *shearwall* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Pemodelan Struktur Hotel SKA Pekanbaru tanpa Shearwall

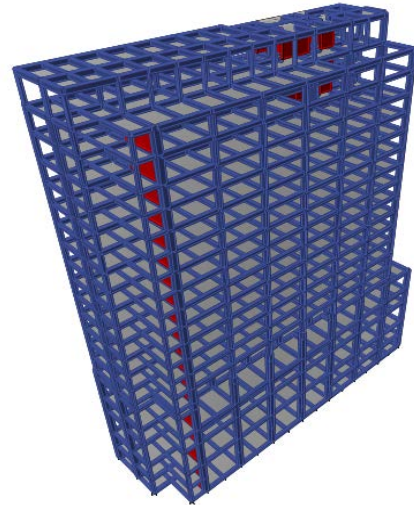
Karakteristik dinamik struktur Hotel SKA Pekanbaru tanpa *shearwall* untuk 15 ragam ditunjukkan dalam Tabel 11.

Tabel 11 Karakteristik Dinamik Struktur Atas Gedung Hotel SKA Tanpa *Shearwall*

Nomor Ragam	Waktu Getar Alami (detik)	Modal Participating Mass Ratio (% massa)			Pola Gerak Dominan
		UX	UY	RZ	
1	6.950	0.070	65.560	13.160	Arah Y
2	6.513	72.900	0.160	0.410	Arah X
3	5.340	0.290	6.410	58.660	Arah Z
4	2.085	3.000	6.980	0.190	
5	2.073	7.300	2.190	0.100	
6	1.745	0.100	2.540	11.780	
7	1.097	3.840	0.003	0.020	
8	1.051	0.060	2.610	0.490	
9	0.948	0.030	1.940	4.040	
10	0.696	2.410	0.030	0.060	
11	0.657	0.160	1.060	0.750	
12	0.577	0.004	1.620	1.690	
13	0.499	2.010	0.030	0.010	
14	0.463	0.160	0.530	0.650	
15	0.394	0.001	1.340	1.210	

Setelah dilakukan analisis dengan memodelkan Struktur Gedung Hotel SKA

Pekanbaru tanpa menggunakan *shearwall* maka selanjutnya Struktur Gedung Hotel SKA Pekanbaru dianalisis dengan cara memodelkan strukturnya menggunakan *shearwall* sesuai dengan *shopdraw*. Pemodelan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Pemodelan Struktur Hotel SKA Pekanbaru dengan Shearwall

Karakteristik dinamik struktur Hotel SKA Pekanbaru dengan *shearwall* untuk 15 ragam ditunjukkan dalam Tabel 12.

Tabel 12 Karakteristik Dinamik Struktur Atas Gedung Hotel SKA dengan *Shearwall*

Nomor Ragam	Waktu Getar Alami (detik)	Modal Participating Mass Ratio (% massa)			Pola Gerak Dominan
		UX	UY	RZ	
1	4.637	75.620	0.040	0.510	Arah X
2	3.68	0.070	69.440	2.130	Arah Y
3	2.958	0.330	0.820	64.810	Arah Z
4	1.379	10.710	0.000	0.020	
5	0.917	0.001	15.660	0.180	
6	0.819	0.050	0.001	15.850	
7	0.688	3.950	0.001	0.000	
8	0.419	1.800	0.990	0.630	
9	0.412	0.630	3.510	1.490	
10	0.384	0.020	0.670	4.140	
11	0.284	1.460	0.130	0.010	
12	0.275	0.170	0.550	0.840	
13	0.257	0.001	0.070	0.060	
14	0.244	0.040	1.670	1.690	
15	0.21	0.260	0.880	1.060	

Dalam SNI 1726-2012 Pasal 7.8.2 disebutkan bahwa waktu getar alami *fundamental* tidak boleh melebihi hasil koefisien atas pada periode yang dihitung. Perbandingan waktu getar struktur gedung



Hotel SKA Pekanbaru dan batasan waktu getar menurut SNI 1726-2012 dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13 Perbandingan Waktu Getar			
Waktu Getar Alami Tanpa Shearwall (detik)		Waktu Getar Alami Dengan Shearwall (detik)	
SNI 1726-2012	ETABS	SNI 1726-2012	ETABS
3,198	6,950	1,751	4,637

Menurut SNI 1726-2012 Pasal 7.9.1. perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus sekurang-kurangnya 90%. Dalam penelitian ini jumlah ragam yang ditinjau dalam perhitungan respon dinamik adalah 15 (lima belas), agar partisipasi massa (*modal participating mass ratio*) mencapai sedikitnya 90% Hasil analisis partisipasi massa dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14 Partisipasi Massa				
Mode	Period	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	4.637	75.620	0.040	0.510
2	3.680	75.690	69.480	2.640
3	2.958	76.020	70.300	67.450
4	1.379	86.730	70.300	67.470
5	0.917	86.730	85.960	67.650
6	0.819	86.780	85.960	83.510
7	0.688	90.740	85.960	83.510
8	0.419	92.530	86.950	84.140
9	0.412	93.170	90.460	85.630
10	0.384	93.180	91.130	89.770
11	0.284	94.650	91.260	89.780
12	0.275	94.820	91.810	90.620
13	0.257	94.820	91.880	90.680
14	0.244	94.850	93.550	92.370
15	0.210	95.120	94.430	93.430

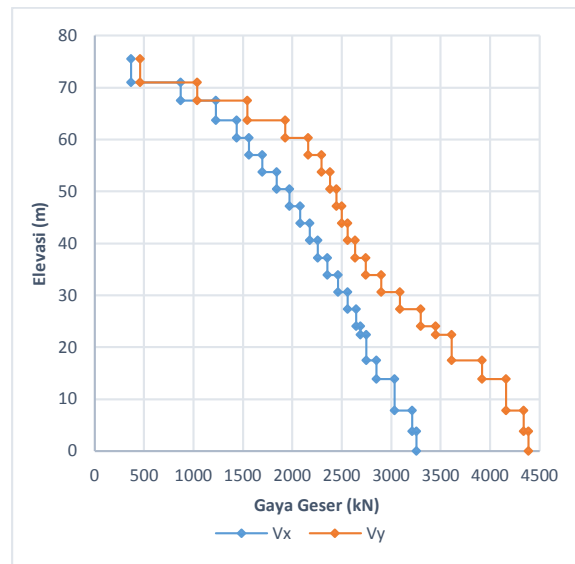
Pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa dengan 12 ragam (*mode*) saja partisipasi massa yang dihasilkan sudah melebihi 90%, sehingga sudah memenuhi syarat partisipasi massa sesuai dengan SNI 1726-2012.

## Analisis Gempa

### Metode Respon Spektrum

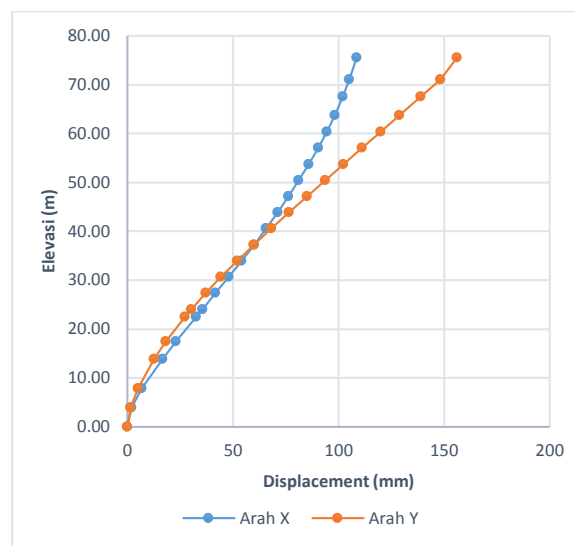
Dengan menggunakan metode respon spektrum didapatkan gaya geser masing-

masing tingkat seperti terlihat pada Gambar 10.



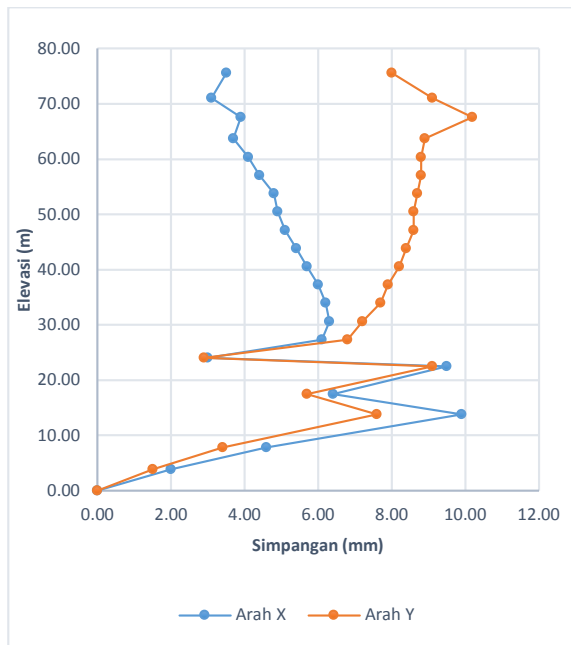
Gambar 10 Gaya Geser Tingkat Terbesar Akibat Kombinasi Maksimum dengan Metode Respon Spektrum

Dengan menggunakan metode respon spektrum didapatkan displacement seperti terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Story Displacement Terbesar akibat Kombinasi Pembebanan Maksimum dengan Metode Respon Spektrum

Dengan menggunakan metode respon spektrum didapatkan simpangan antar lantai seperti terlihat pada Gambar 12.

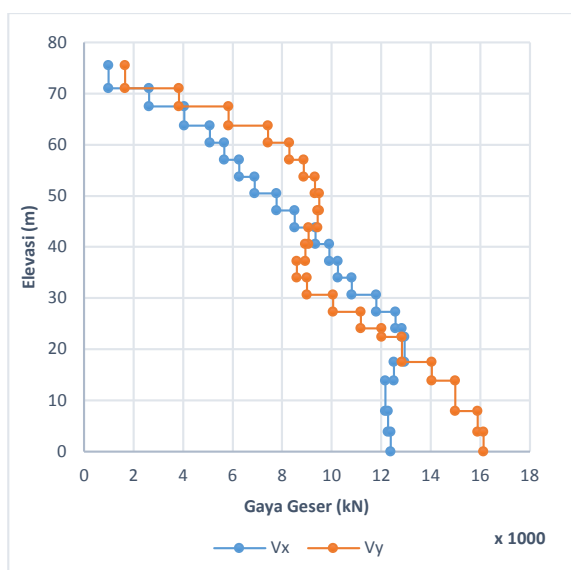


Gambar 12 Simpanan Antar Lantai Terbesar Akibat Kombinasi Pembebanan Maksimum dengan Metode Respon Spektrum

#### Metode Time History

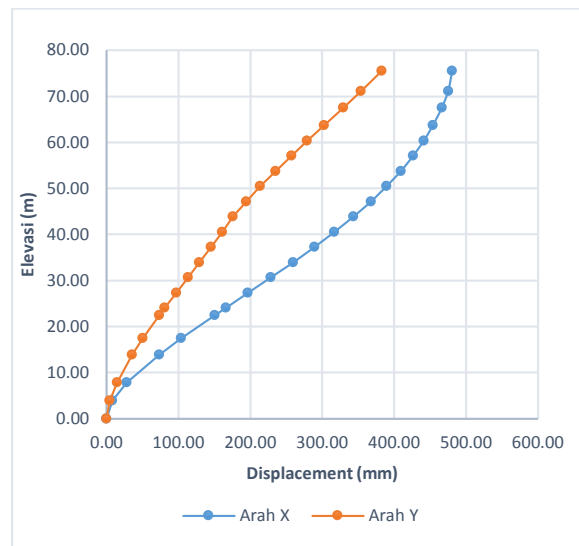
##### a. Time history Gempa El-centro

Dengan menggunakan *time history* gempa El-centro didapatkan gaya geser masing-masing tingkat seperti terlihat pada Gambar 13.



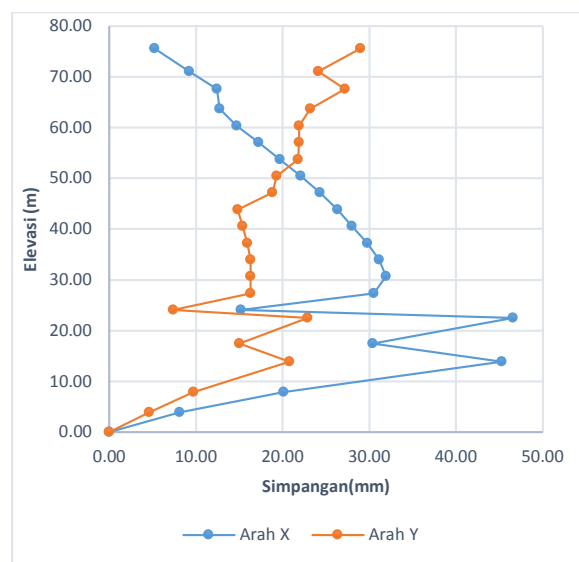
Gambar 13 Gaya Geser Tingkat Terbesar Akibat Kombinasi Beban Maksimum untuk *Time History* Gempa EL-Centro

Dengan menggunakan *Time History* Gempa EL-Centro didapatkan *displacement* seperti terlihat pada Gambar 14.



Gambar 14 *Story Displacement* Terbesar akibat Kombinasi Pembebanan Maksimum dengan *Time History* Gempa El-Centro

Dengan menggunakan *Time History* Gempa El-Centro didapatkan simpanan antar lantai seperti terlihat pada Gambar 15.

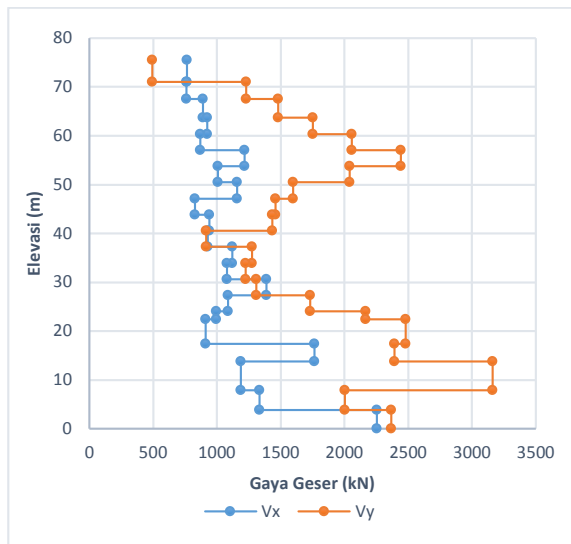


Gambar 15 Simpanan Antar Lantai Terbesar akibat Kombinasi Pembebanan Maksimum dengan *Time History* Gempa El-Centro

##### b. Time history Gempa Mentawai

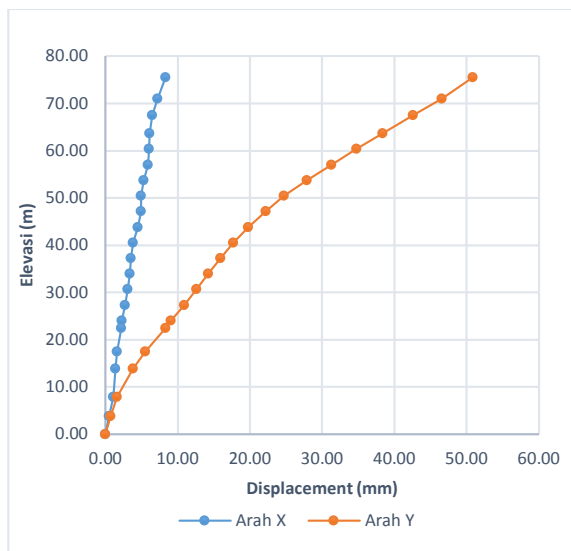
Dengan menggunakan *time history* gempa Mentawai didapatkan gaya geser

masing-masing tingkat seperti terlihat pada Gambar 16.



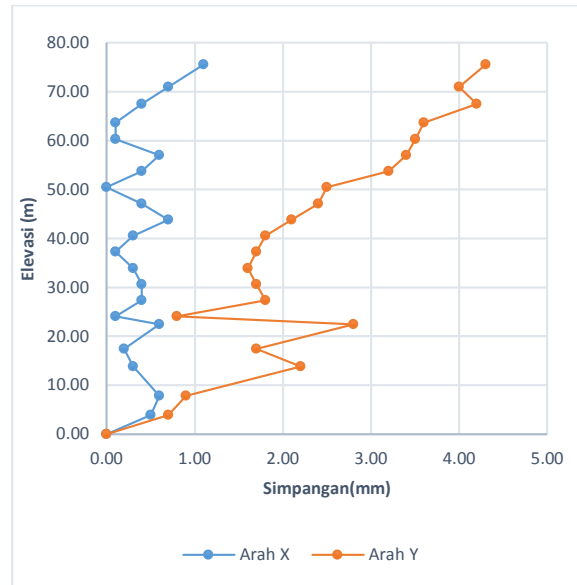
Gambar 16 Gaya Geser Tingkat Terbesar Akibat Kombinasi Beban Maksimum untuk *Time History* Gempa Mentawai

Dengan menggunakan *Time History* Gempa Mentaawai didapatkan *displacement* seperti terlihat pada Gambar 17.



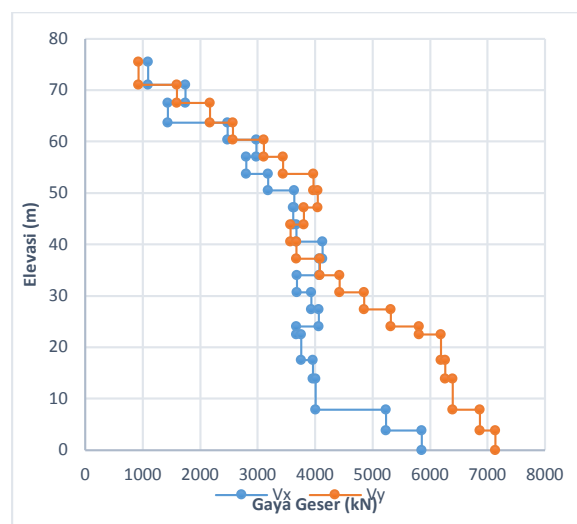
Gambar 17 *Story Displacement* Terbesar akibat Kombinasi Pembebanan Maksimum dengan *Time History* Gempa Mentawai

Dengan menggunakan *Time History* Gempa Mentawai didapatkan simpangan antar lantai seperti terlihat pada Gambar 18.



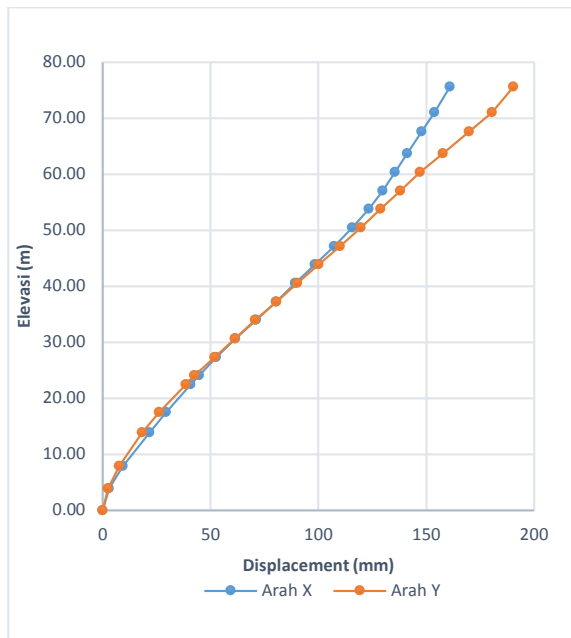
Gambar 18 Simpangan Antar Lantai Terbesar akibat Kombinasi Pembebanan Maksimum dengan *Time History* Gempa Mentawai

- c. *Time history* Gempa Aceh  
Dengan menggunakan *time history* gempa Aceh didapatkan gaya geser masing-masing tingkat seperti terlihat pada Gambar 19.



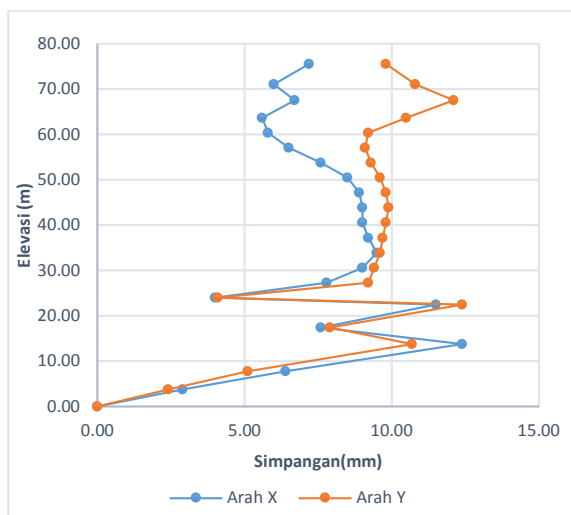
Gambar 19 Gaya Geser Tingkat Terbesar Akibat Kombinasi Beban Maksimum untuk *Time History* Gempa Aceh

Dengan menggunakan *Time History* Gempa Aceh didapatkan *displacement* seperti terlihat pada Gambar 20.



Gambar 20 *Story Displacement* Terbesar akibat Kombinasi Pembebanan Maksimum dengan *Time History* Gempa Aceh

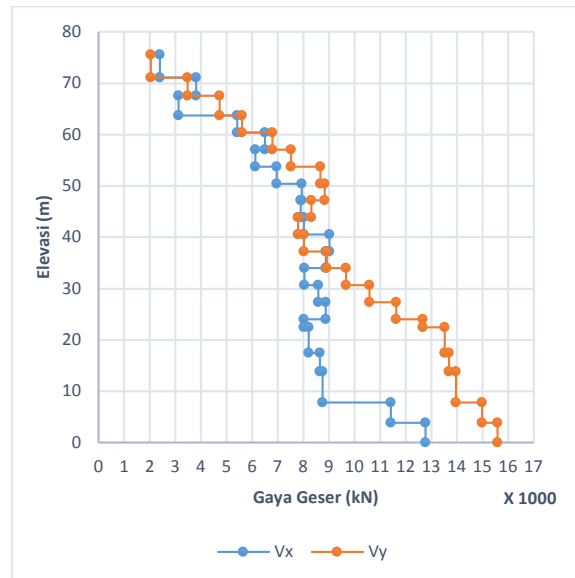
Dengan menggunakan *Time History* Gempa Aceh didapatkan simpangan antar lantai seperti terlihat pada Gambar 21.



Gambar 21 Simpangan Antar Lantai Terbesar akibat Kombinasi Pembebanan Maksimum dengan *Time History* Gempa Aceh

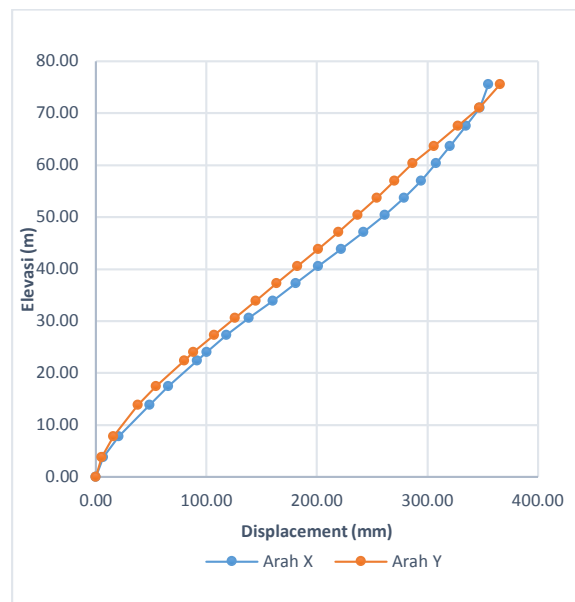
#### d. Time history Gempa Padang

Dengan menggunakan time history gempa Padang didapatkan gaya geser masing-masing tingkat seperti terlihat pada Gambar 22.



Gambar 22 Gaya Geser Tingkat Terbesar Akibat Kombinasi Beban Maksimum untuk *Time History* Gempa Padang

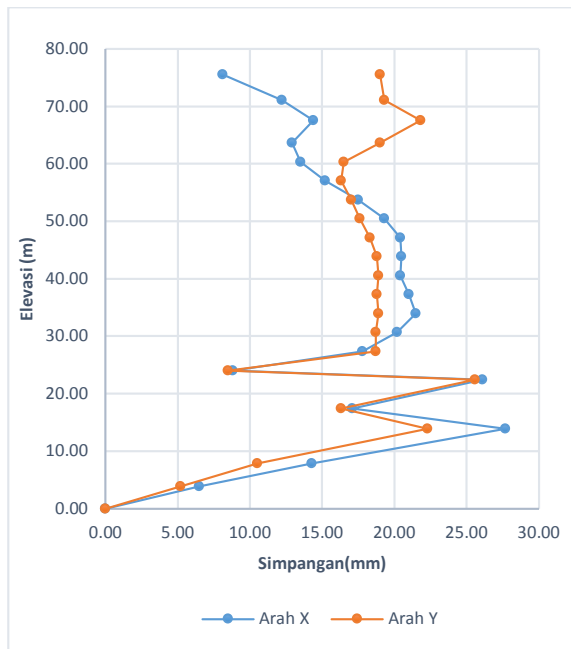
Dengan menggunakan *Time History* Gempa Padang didapatkan *displacement* seperti terlihat pada Gambar 23.



Gambar 23 *Story Displacement* Terbesar akibat Kombinasi Pembebanan Maksimum dengan *Time History* Gempa Padang

Dengan menggunakan *Time History* Gempa Padang didapatkan simpangan antar lantai seperti terlihat pada Gambar 24.

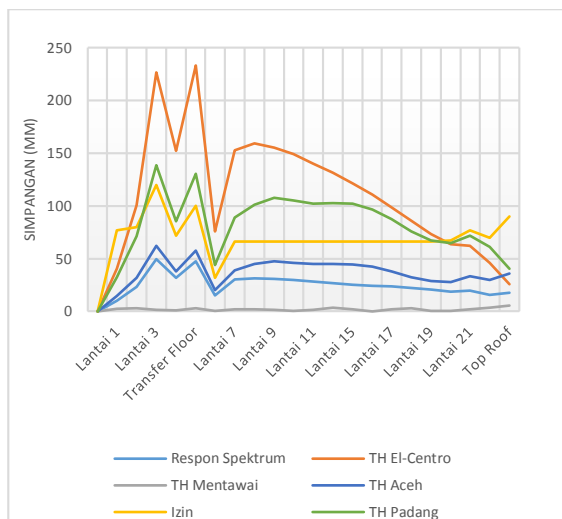




Gambar 24 Simpangan Antar Lantai Terbesar akibat Kombinasi Pembebanan Maksimum dengan *Time History* Gempa Padang

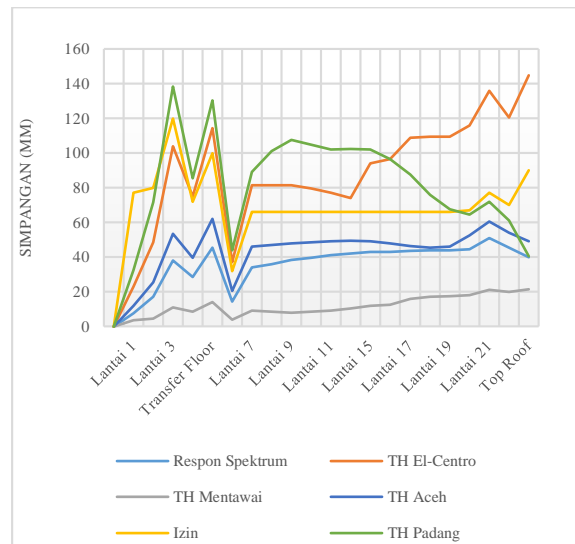
### Batas Kinerja Ultimate

Untuk hasil analisis kondisi batas kinerja *ultimate* secara keseluruhan pada arah X dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25 Kontrol Kondisi Batas Kinerja *Ultimate* Arah X

Untuk hasil analisis kondisi batas kinerja *ultimate* secara keseluruhan pada arah Y dapat dilihat pada Gambar 26.



Gambar 26 Kontrol Kondisi Batas Kinerja *Ultimate* Arah Y

### Level Kinerja Struktur

Masing-masing metode menghasilkan level kinerja struktur yang beragam. Level kinerja struktur gedung Hotel SKA Pekanbaru untuk arah X dapat dilihat pada tabel 15.

Tabel 15 Tabel Kinerja Struktur Gedung Hotel SKA Pekanbaru Arax X Berdasarkan ATC-40

No	Metode	Maksimal Drift	Maksimal Inelastic Drift	Level Kinerja
1	Respon Spektrum	0.007	0.007	DC
2	TH. El-Centro	0.032	0.031	SS
3	TH. Mentawai	0.001	0.001	IO
4	TH. Aceh	0.011	0.010	DC
5	TH. Padang	0.024	0.023	SS

Level kinerja struktur gedung Hotel SKA Pekanbaru untuk arah Y dapat dilihat pada tabel 16.

Tabel 16 Tabel Kinerja Struktur Gedung Hotel SKA Pekanbaru Arax Y Berdasarkan ATC-40

No	Metode	Maksimal Drift	Maksimal Inelastic Drift	Level Kinerja
1	Respon Spektrum	0.010	0.010	DC
2	TH. El-Centro	0.025	0.025	SS
3	TH. Mentawai	0.003	0.003	IO
4	TH. Aceh	0.013	0.012	DC
5	TH. Padang	0.024	0.024	SS

### C. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Berdasarkan analisis, penambahan shearwall mengurangi waktu getar alami fundamental struktur Gedung SKA Pekanbaru. Namun waktu getar alami *fundamental* struktur Gedung Hotel SKA Pekanbaru masih melampaui waktu getar alami fundamental yang ditentukan oleh SNI 1726-2012, dengan rincian sebagai berikut:
  - a. Pembatasan waktu getar berdasarkan SNI 1726-2012 untuk struktur gedung tanpa shearwall adalah 3,198 detik, sedangkan hasil analisa dengan program ETABS didapatkan waktu getar alami sebesar 6,950 detik.
  - b. Pembatasan waktu getar berdasarkan SNI 1726-2012 untuk struktur gedung menggunakan shearwall adalah 1,751 detik, sedangkan hasil analisa dengan program ETABS didapatkan waktu getar alami sebesar 4,637 detik.
2. Berdasarkan analisis kondisi kinerja batas *ultimate* terdapat beberapa lantai yang melewati izin berdasarkan SNI 1726-2012, dengan rincian sebagai berikut:
  - a. Berdasarkan metode respon spektrum kondisi kinerja batas *ultimate* memenuhi batasan izin SNI 1726-2012 pada arah X maupun arah Y.
  - b. Berdasarkan beban *time history* gempa El-Centro pada arah X sebesar 72,73% kondisi kinerja batas *ultimate* melewati batasan izin SNI 1726-2012 sedangkan untuk arah Y sebesar 81,82% kondisi kinerja batas *ultimate* melewati batasan izin SNI 1726-2012.
  - c. Berdasarkan beban *time history* gempa Mentawai kondisi kinerja batas *ultimate* memenuhi batasan izin SNI 1726-2012 pada arah X maupun arah Y.
  - d. Berdasarkan beban *time history* gempa Aceh kondisi kinerja batas *ultimate* memenuhi batasan izin SNI 1726-2012 pada arah X maupun arah Y.
  - e. Berdasarkan beban *time history* gempa Padang pada arah X sebesar 68,12%

kondisi kinerja batas *ultimate* melewati batasan izin SNI 1726-2012 sedangkan untuk arah Y sebesar 81,82% kondisi kinerja batas *ultimate* melewati batasan izin SNI 1726-2012

3. Dari analisis yang dilakukan masing-masing metode menghasilkan level kinerja struktur yang berbeda, dengan rincian sebagai berikut:
  - a. Berdasarkan metode respon spektrum level kinerja struktur Gedung SKA Pekanbaru adalah **Damage Control (DC)** pada arah X maupun arah Y.
  - b. Berdasarkan beban *time history* El-Centro level kinerja struktur Gedung SKA Pekanbaru adalah **Structural Stability (SS)** pada arah X maupun arah Y.
  - c. Berdasarkan beban *time history* gempa Mentawai level kinerja struktur Gedung SKA Pekanbaru adalah **Immediate Occupancy (IO)** pada arah X maupun arah Y.
  - d. Berdasarkan beban *time history* gempa Aceh level kinerja struktur Gedung SKA Pekanbaru adalah **Damage Control (DC)** pada arah X maupun arah Y.
  - e. Berdasarkan beban *time history* Padang level kinerja struktur Gedung SKA Pekanbaru adalah **Structural Stability (SS)** pada arah X maupun arah Y.

### D. SARAN

Saran yang dapat penulis berikan dari hasil penelitian ini sebaiknya ditambahkan pengaku lateral (sharewall) di lokasi-lokasi tertentu pada struktur, sehingga waktu getar alami struktur tidak melebihi batasan yang ditetapkan oleh SNI 1726-2012.

### E. DAFTAR PUSTAKA

ANGGEN, W. S. (2014). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Time History Menggunakan Etabs Studi Kasus : Hotel Di Karanganyar*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

- ANTO, F. A. (2014). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Riwayat Waktu Terhadap Drift Dan Displacement Menggunakan Software Etabs Studi Kasus : Hotel Di Daerah Karanganyar*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- BSN. (1989). *SNI 03-1727-1989 : Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah*. Jakarta.
- BSN. (2002). *SNI 1726-2002 : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. Jakarta.
- BSN. (2012). *SNI 1726-2012 : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. Jakarta.
- BSN. (2013). *SNI 1727-2013 : Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan*. Jakarta.
- BSN. (2013). *SNI 2847-2013 : Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan*. Jakarta.
- Cormac, M. (2004). *Desain Beton Bertulang Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.
- Council, A. T. (1996). *ATC 40 - Seismic Evaluation*. California: Redwood City.
- SARI, D. A. (2013). *Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Riwayat Waktu Menggunakan Software Etabs V 9.5 (Studi Kasus : Gedung Solo Center Point )*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- WIBOWO, A. S. (2011). *Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan Dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Riwayat Waktu*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.